

```
<!--Laboratorio de Microcontroladores-->
```

# → Proyecto Final{

```
<Afinador de cuerda con microcontrolador/>
```

```
<Por="Sofia Villalta y Elias Alvarado."/>
```

```
}
```

# Contenidos

- 01 Descripción de la aplicación
- 02 Objetivos y alcances
- 03 Justificación
- 04 Nota Teórica
- 05 Implementación
- 06 Análisis de Resultados
- 07 Conclusiones y recomendaciones

## Descripción de la aplicación

La idea de esta aplicación es implementar un afinador de guitarra que utilice un sensor de sonido, detecte la nota que produce el instrumento y haga una comparación entre la referencia y el sonido captado. Utilizando un microcontrolador, machine learning y la plataforma lot thingsboard.



# Objetivos y alcances {

01

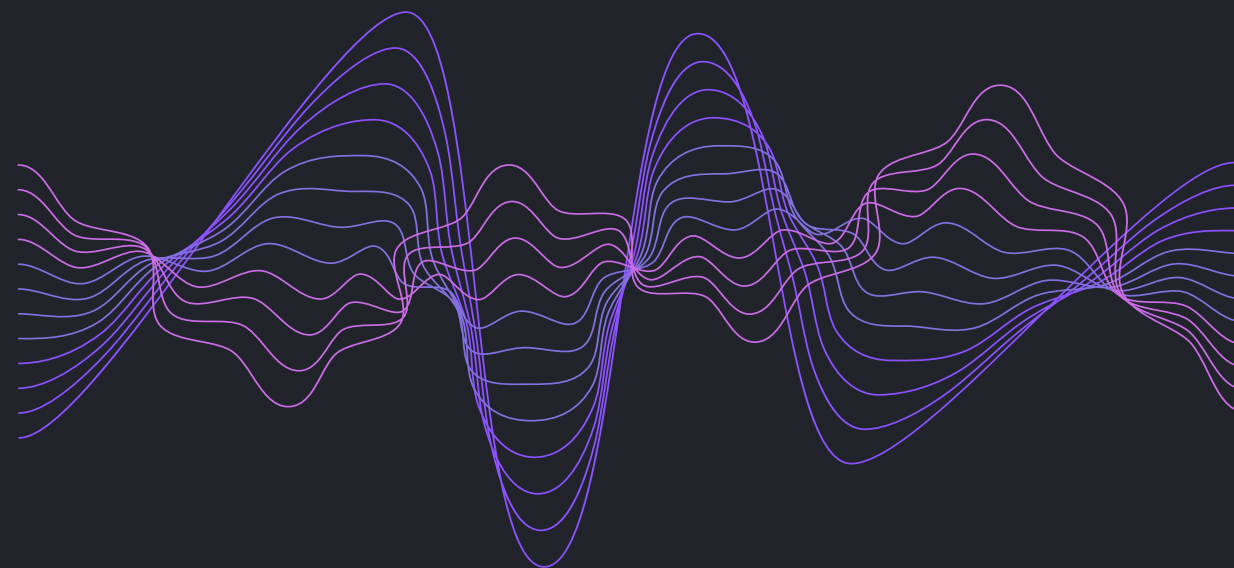
Diseñar un circuito que detecte los valores emitidos por el instrumento de cuerda.

02

Mediante el circuito desarrollado comparar los valores captados con los de referencia y detección de notas mediante Machine Learning.

03

Mostrar la diferencia entre el valor de referencia y el emitido en una interfaz gráfica.



}

# Justificación {

## Facilidad para ajustar las notas.

Se desea generar un sistema automatizado que facilite la tarea de afinar una guitarra por lo que puede ahorrar tiempo.

## Forma accesible de afinar instrumentos

Como este sistema va a implementar el conocimiento obtenido en el curso permite que los estudiantes desarrollen sus propias maneras de afinar instrumentos de cuerda.

}

# Nota Teórica {

## Lenguaje de programación:

Se va a utilizar el lenguaje de programación C para programar el código del microcontrolador.

## Librerías a utilizar:

- PDM: Librería para el micrófono.
- Librería de red neuronal entrenada

}

# Arduino Nano 33 Ble Sense

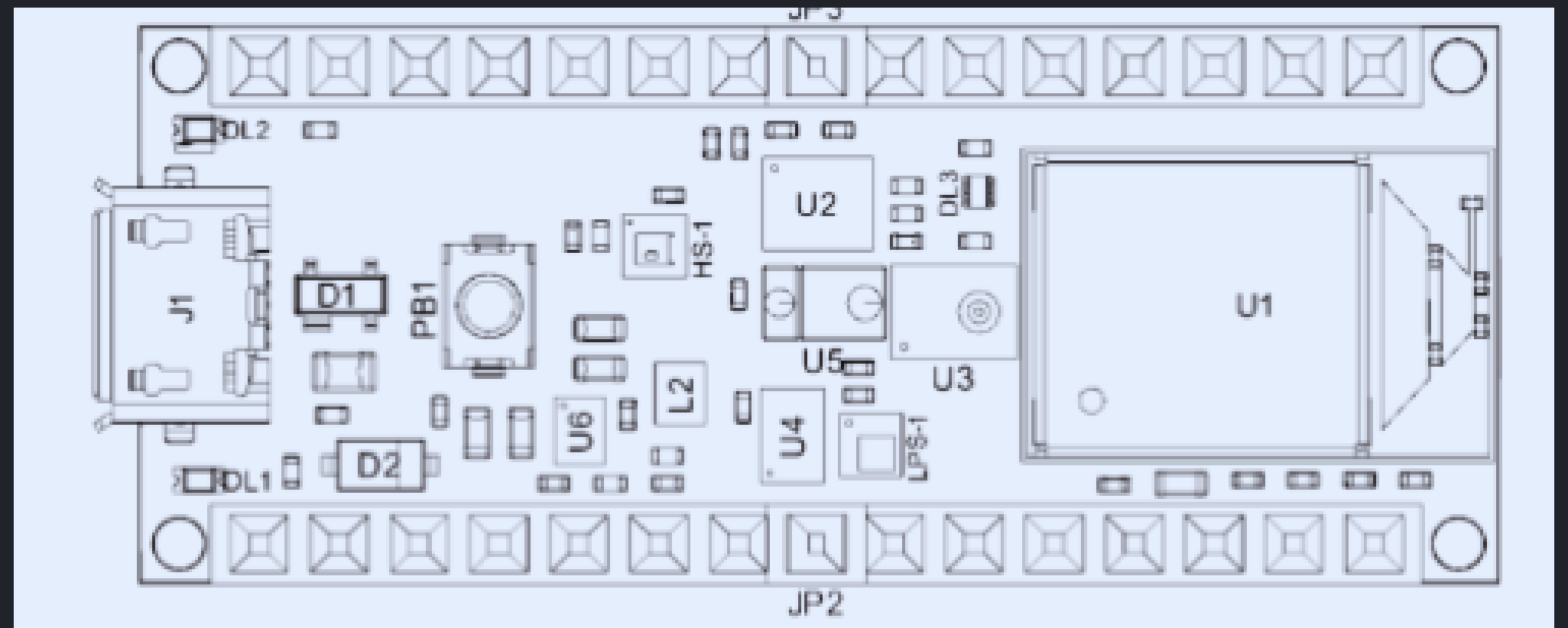
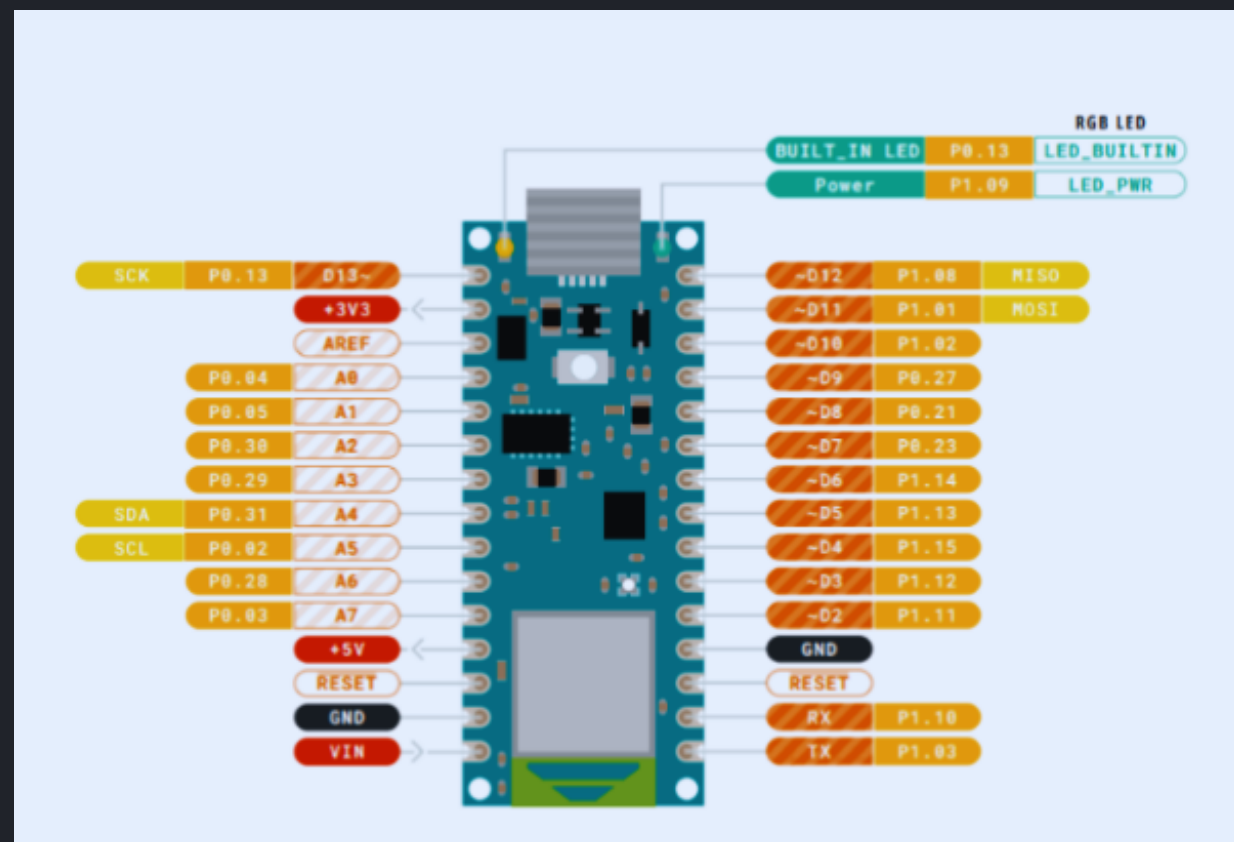
- Diseño compacto, además incorpora 11 sensores.
- Sensor de proximidad, color, medidor de intensidad de luz, micrófono digital.
- Cuenta con conectividad Bluetooth Low Energy



# Componentes destacados del microcontrolador

- Pines del microcontrolador

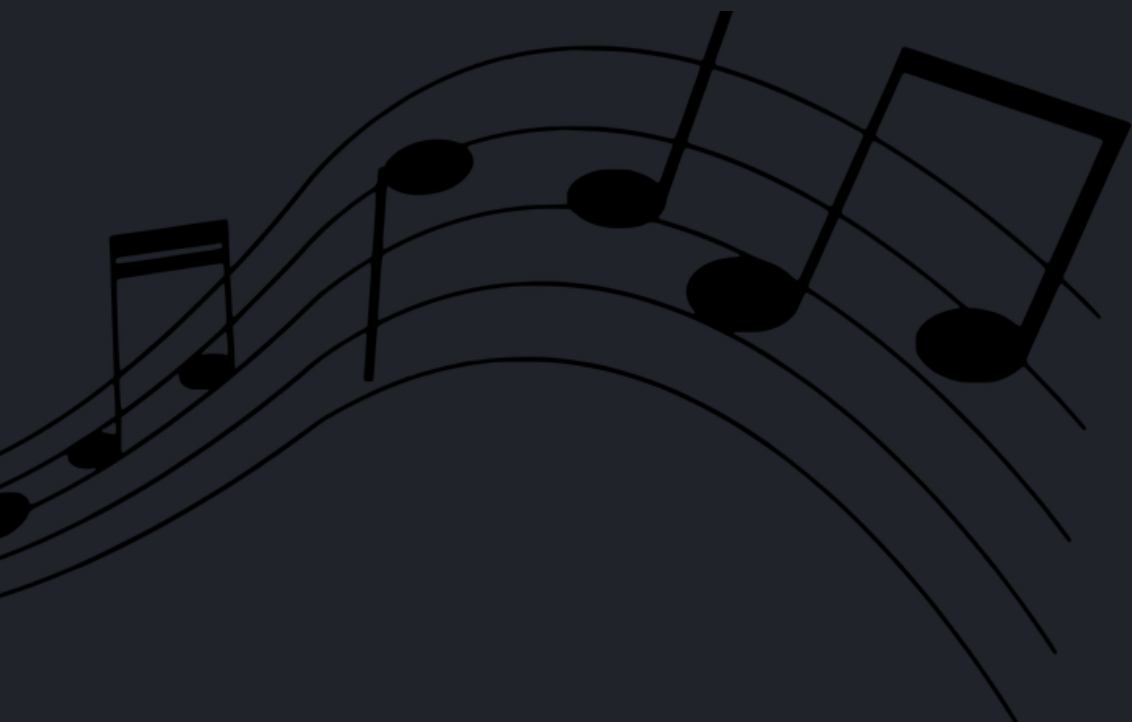
- Topología



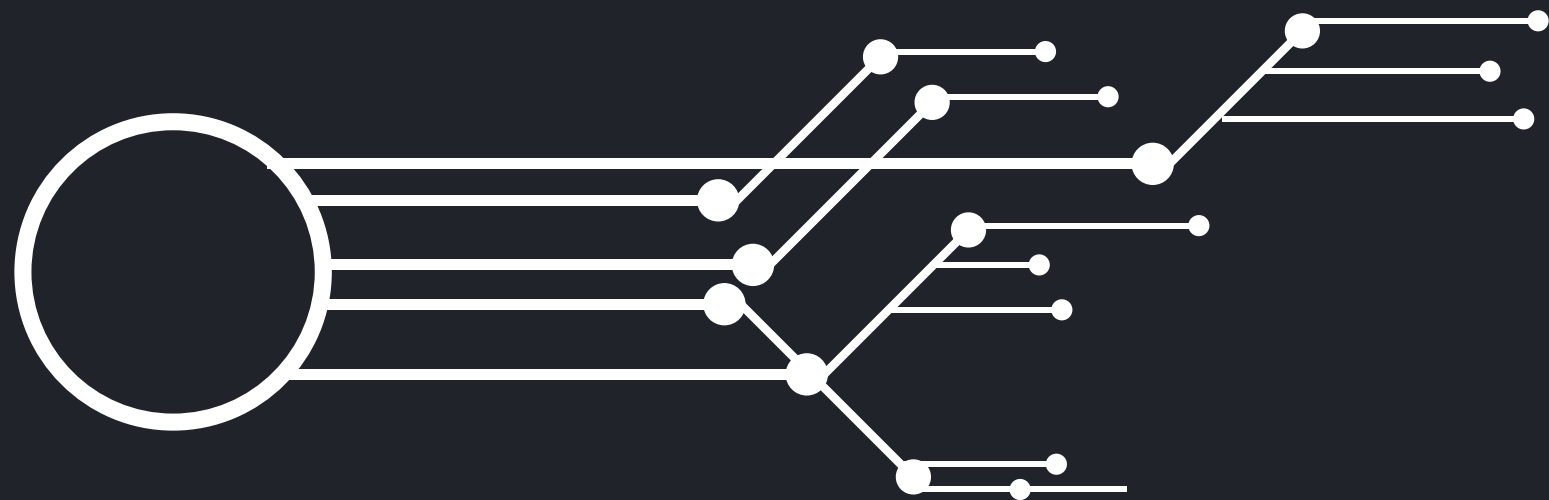


# Edge Impulse

- Plataforma que se entrena un modelo de una red neuronal
- Modelo compatible con el Arduino Nano 33 BLE
- Modelo que captura la notas de las cuerdas de la guitarra



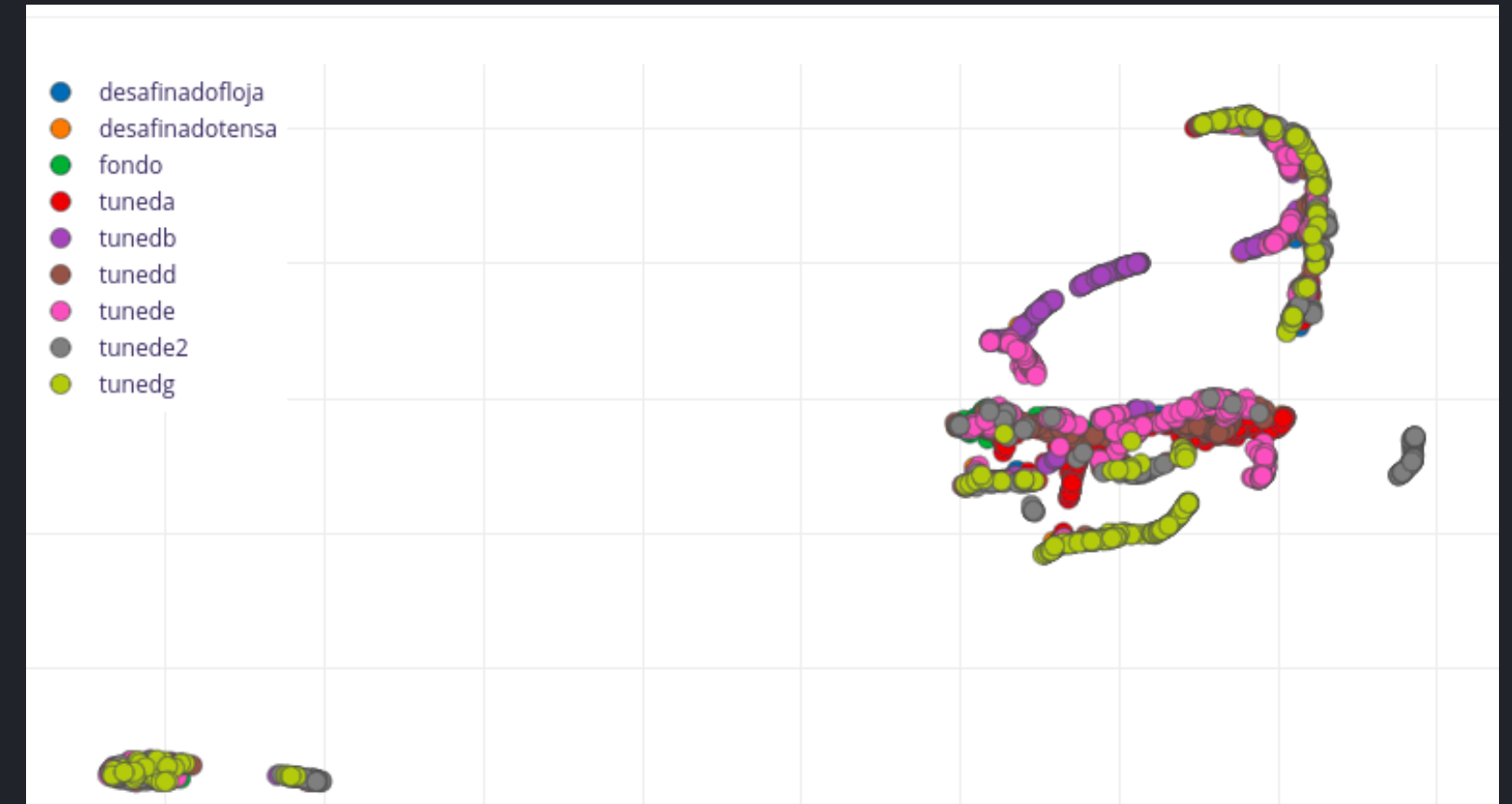
# lot Thingsboard



- Plataforma para desarrollo de soluciones de Iot(Internet de las cosas)
- Mediante la conexión a la plataforma, mediante un widget muestra la interfaz gráfica con las notas captadas.

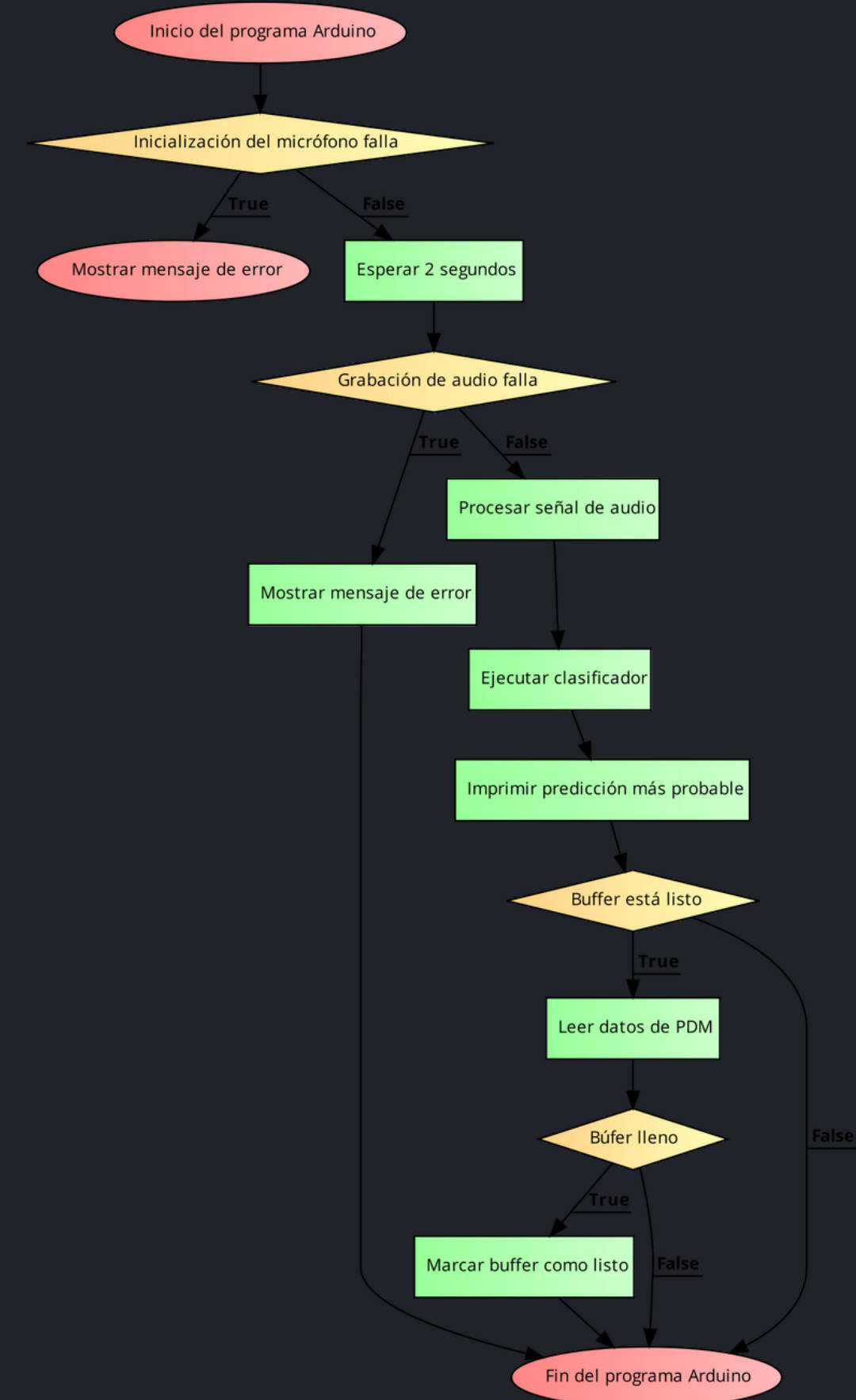
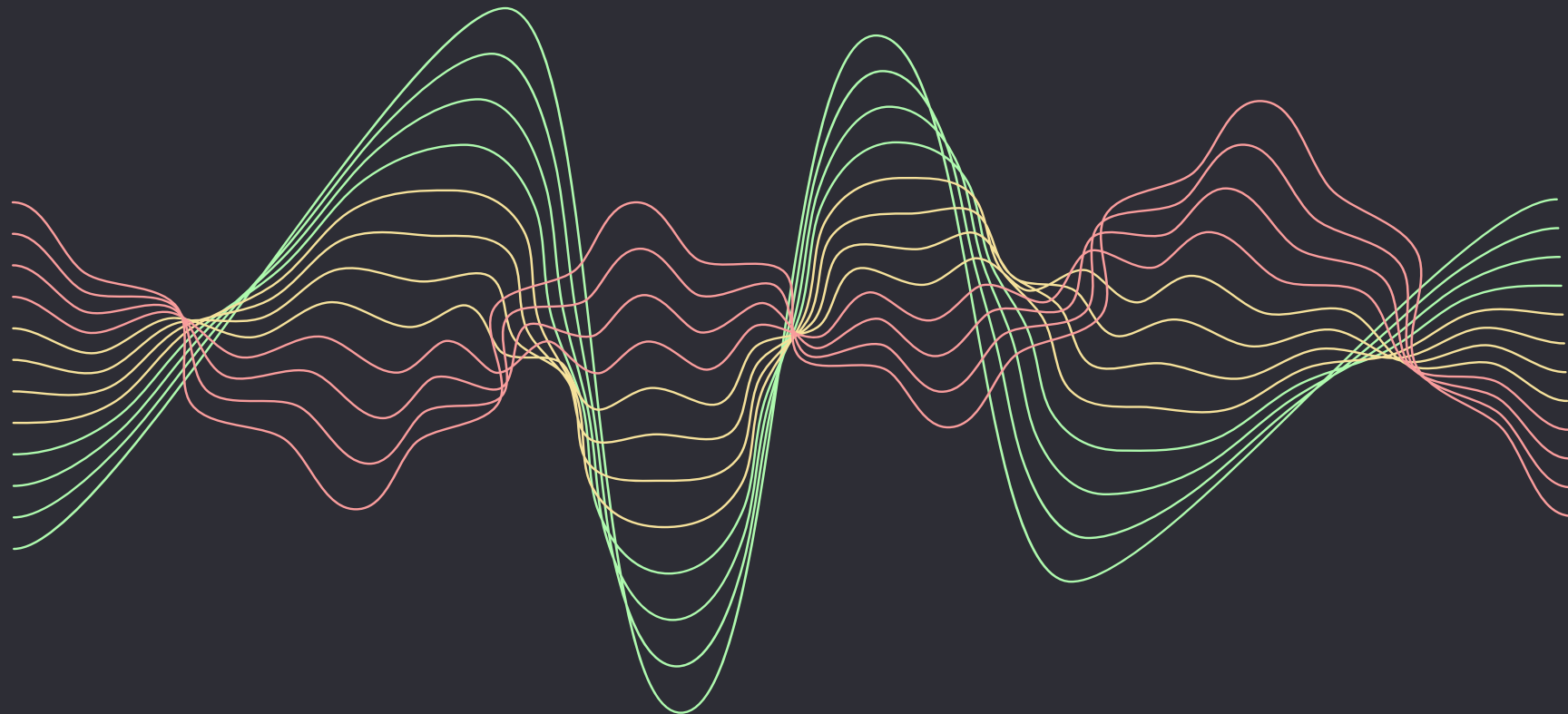
# Implementación{

- Proyecto con machine learning implementado en Edge Impulse.
- 12 audios de 5 minutos para notas afinadas, 2 audios para notas desafinadas y de fondo.
- Exportación como biblioteca de Arduino.
- Script de python para conexión con Thingsboard.



# Programa de Arduino{

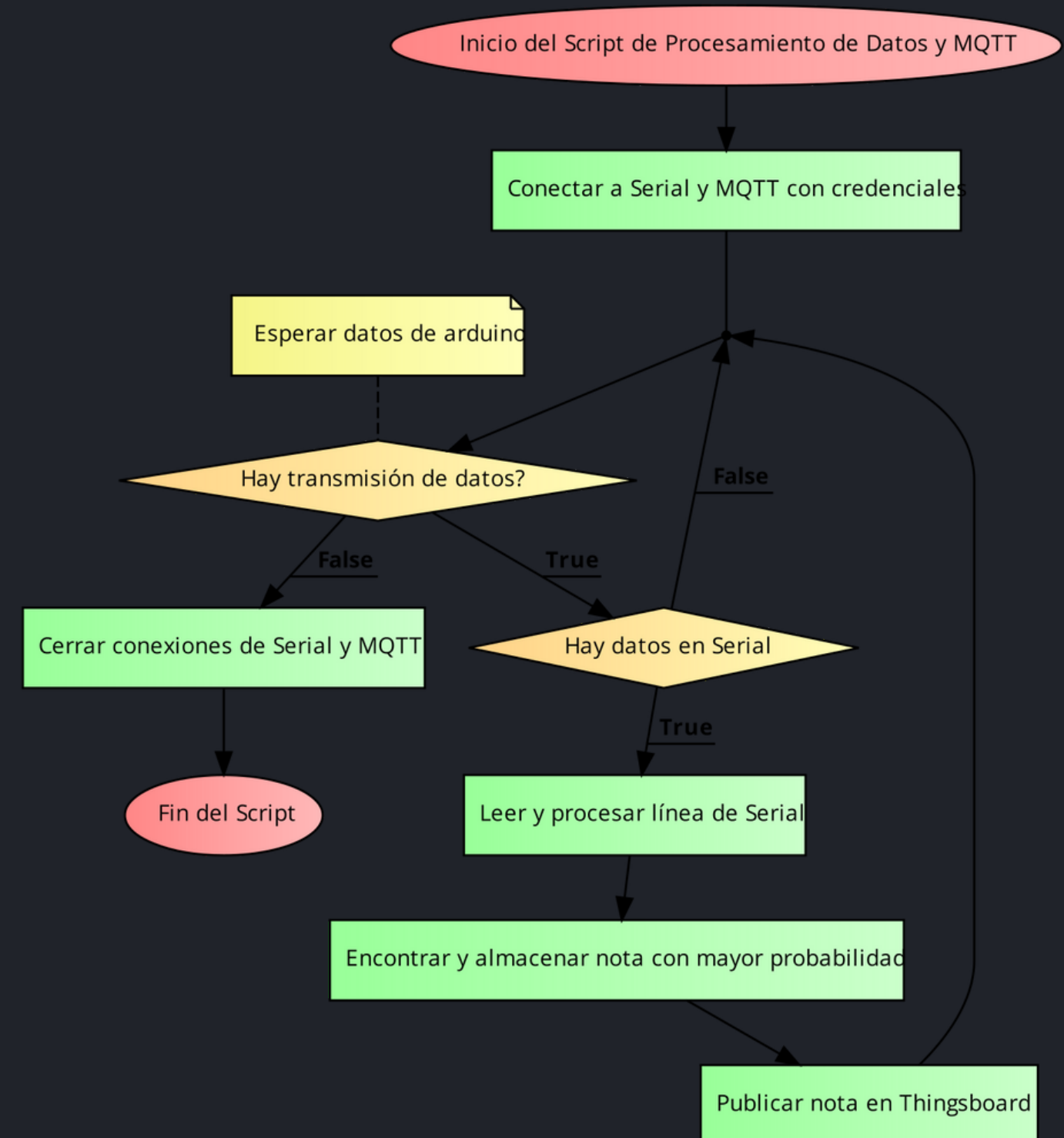
- Inicialización del micrófono y manejo de errores.
- Espera y grabación de audio con procesamiento posterior.
- Clasificación de audio y determinación de la nota más probable.
- Gestión de búfer PDM para captura y procesamiento de datos.



}

# Programa de Python{

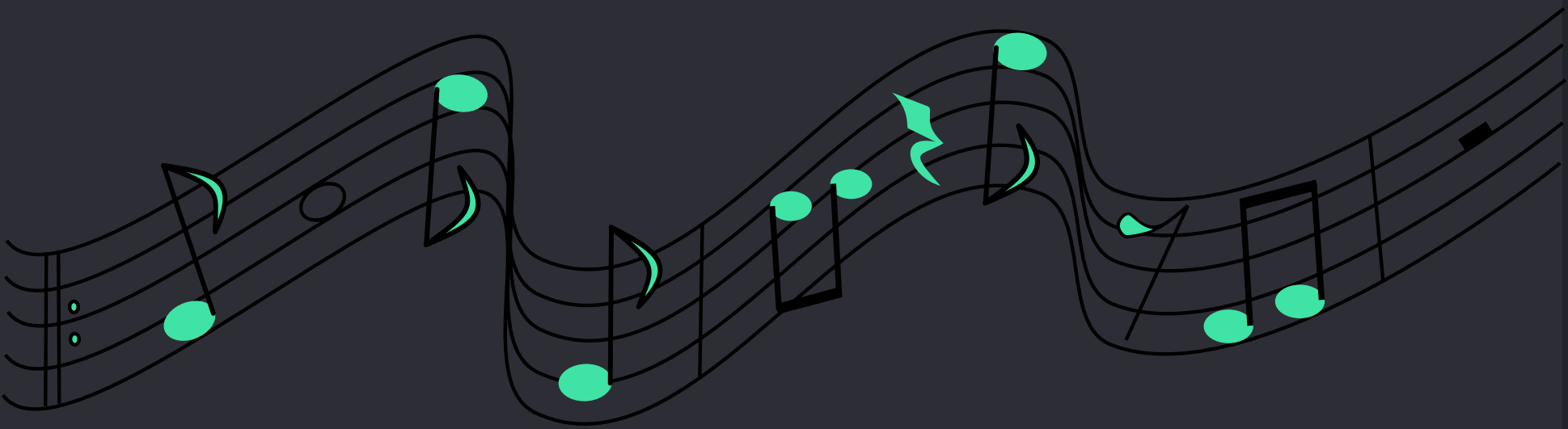
- Establecimiento de comunicación serial y conexión MQTT con Thingsboard.
- Lectura continua de datos del serial y procesamiento.
- Identificación y publicación de la nota con mayor probabilidad en Thingsboard.



}

# Análisis de resultados{

- Modelo con resultados de precisión de 80.8%.
- Notas con menos precisión al usar el modelo: tunedd y tunede, aunque al entrenar la red su porcentaje de precisión fue de más de 70%.



ACCURACY  
80.8%



LOSS  
0,53

Confusion matrix (validation set)

	DESAFINAD	DESAFINAD	FONDO	TUNEDA	TUNEDB	TUNEDD	TUNEDE	TUNEDE2	TUNEDG
DESAFINAD	87.3%	2.9%	0.6%	3.5%	0.9%	0%	1.2%	0%	3.7%
DESAFINAD	15.8%	79.9%	0.5%	0.3%	0.3%	0%	1.1%	0%	2.1%
FONDO	7.3%	6.2%	86.2%	0%	0%	0%	0.3%	0%	0%
TUNEDA	0.7%	5.4%	0%	92.3%	1.1%	0%	0.1%	0.4%	0%
TUNEDB	0.1%	0.4%	0%	7.2%	90.5%	0.2%	0.4%	0.2%	0.9%
TUNEDD	1.0%	3.8%	0%	11.4%	3.7%	79.4%	0.4%	0%	0.3%
TUNEDE	2.0%	1.1%	0%	16.6%	1.5%	2.5%	76.0%	0.3%	0%
TUNEDE2	0.1%	4.8%	0.7%	8.0%	9.9%	0.3%	0.7%	73.0%	2.5%
TUNEDG	1.3%	5.3%	0%	8.3%	11.5%	1.9%	1.4%	2.8%	67.5%
F1 SCORE	0.76	0.65	0.91	0.77	0.82	0.86	0.85	0.83	0.78





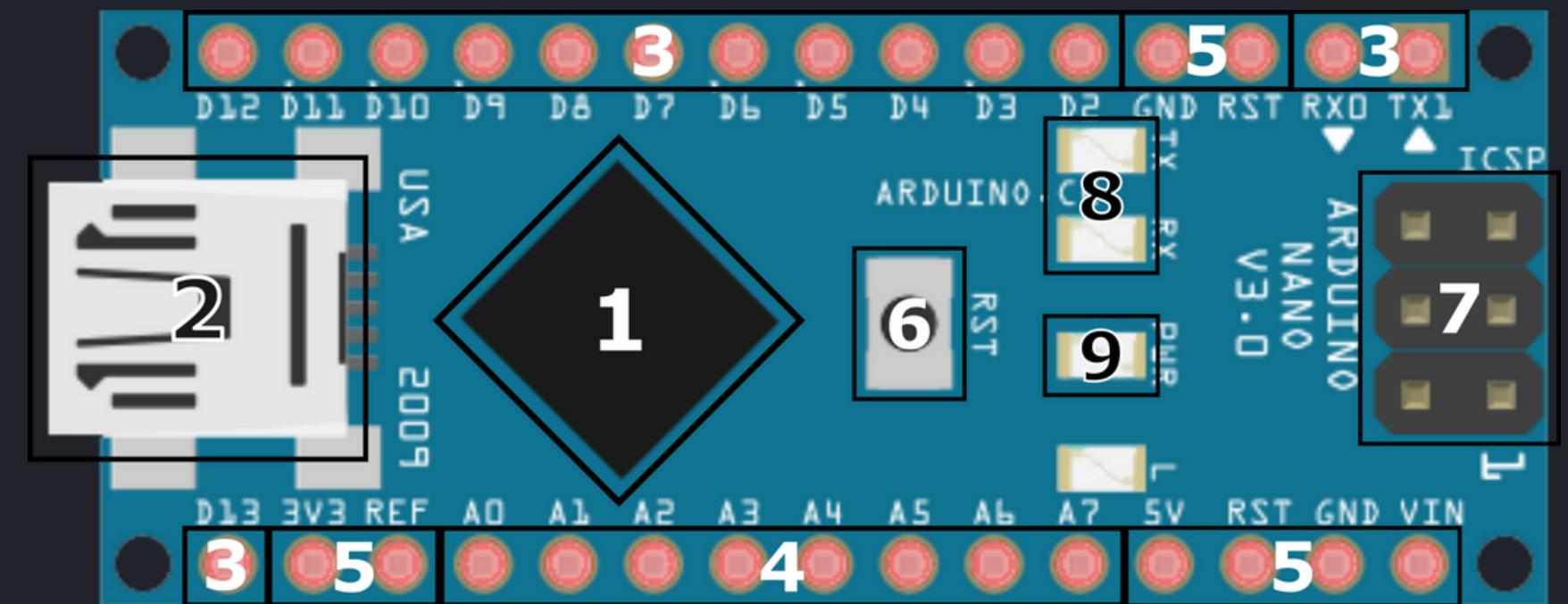
# Análisis de resultados{

Algunas complicaciones:

- Los sets de datos y sus etiquetas.
- Muchas muestras de datos no es tan eficiente por el límite de Edge Impulse.

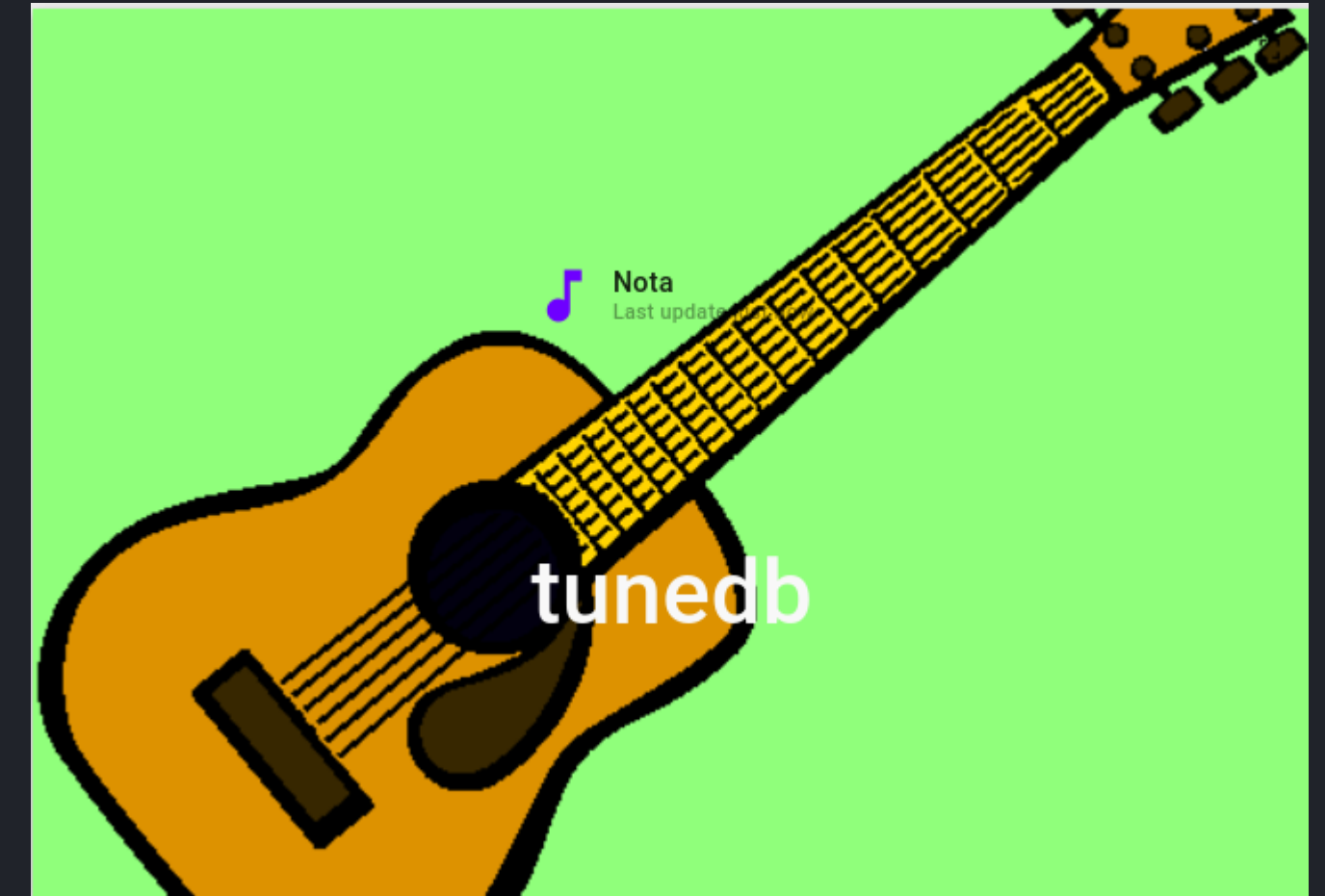
Solución:

- Muestras de datos directamente de la guitarra y de otra fuente (Aplicación de afinador)
- Énfasis en muestras de datos para notas afinadas.



# Análisis de resultados{

- Resultado exitoso de clasificación de notas afinadas tanto con guitarra como con sonido del afinador.
- Buena diferenciación entre notas.

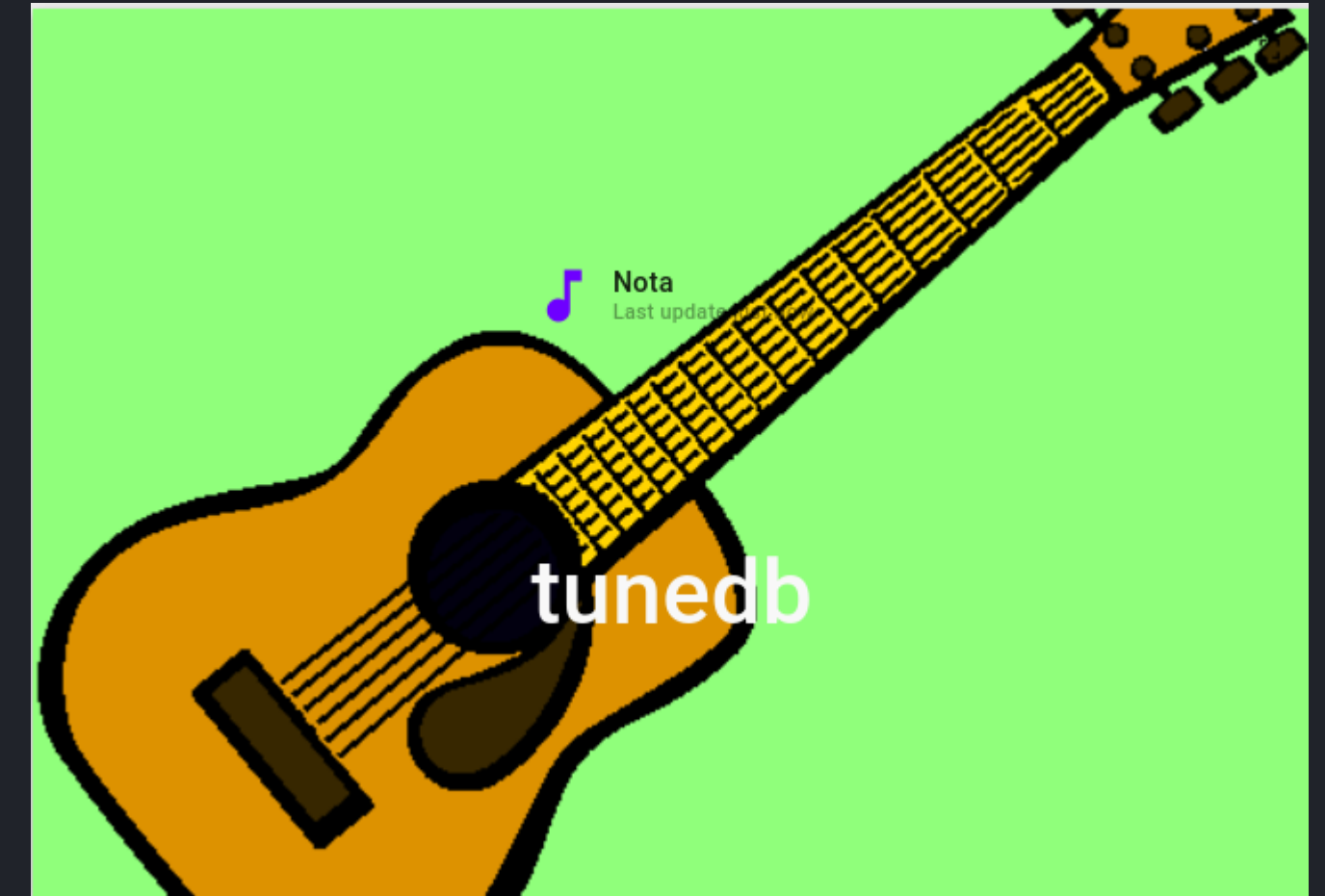


```
Predictions (DSP: 82 ms., Classification: 28 ms., Anomaly: 0 ms.):
desafinadofloja: 0.00000
desafinadotensa: 0.00000
fondo: 0.00000
tuneda: 0.00000
tunedb: 0.99609
Nota detectada con mayor probabilidad: tunedb
```



## Análisis de resultados{

- Como se puede observar primero el modelo capta la nota con una probabilidad de 0.5 pero sabe que está desafinada porque la cuerda está tensa, cuando se ajusta y afina la nota aflojando la cuerda se capta bien que la nota es tunedb.



```
Nota detectada con mayor probabilidad: desafinado  
Data published to Thingsboard  
fondo: 0.00000  
tuneda: 0.00000  
tunedb: 0.50000  
Nota detectada con mayor probabilidad: tunedb  
Data published to Thingsboard
```

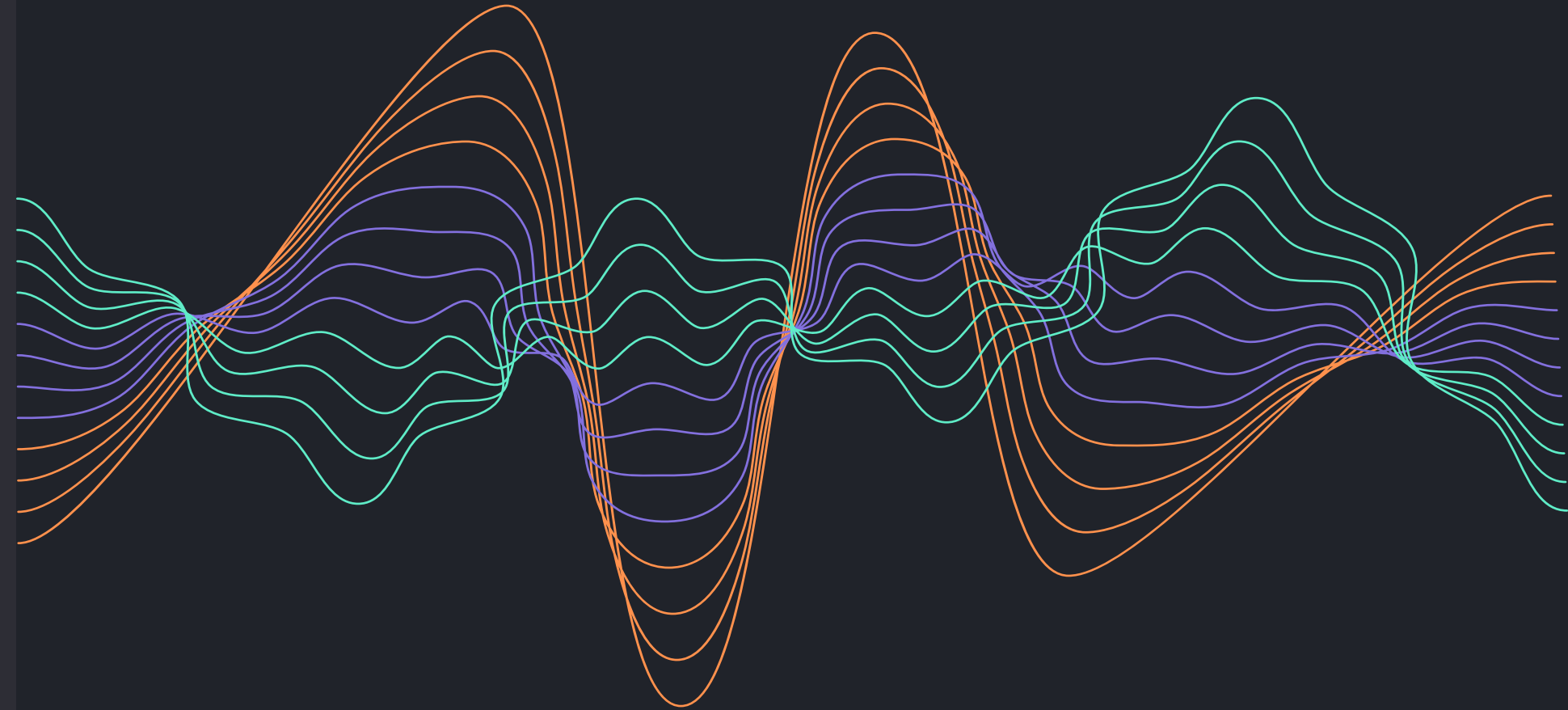
# Conclusiones{

- El Arduino Nano 33 BLE Sense es versátil y eficiente para proyectos de reconocimiento de audio con ML, minimizando tiempo y costos.
- Se creó un modelo de ML con Edge Impulse para identificar notas de guitarra, integrándose fácilmente con el hardware de Arduino.
- Un script en Python y Thingsboard provee una interfaz simple para visualizar notas musicales.
- Más datos mejoran la precisión del modelo ante notas de frecuencias cercanas.



# Recomendaciones{

- **Incremento de Datos:** Ampliar el conjunto de datos de entrenamiento para incluir una mayor variedad de tonos y sonidos de guitarra, lo que podría mejorar la precisión del modelo en condiciones más diversas y con diferentes guitarras.
- **Expansión de Funcionalidades:** Explorar la posibilidad de añadir nuevas características al modelo, como el reconocimiento de acordes o la capacidad de afinar otros instrumentos de cuerda.



```
<!--Laboratorio de Microcontroladores-->
```

Gracias {

```
<Por="Sofia Villalta y Elías  
Alvarado"/>
```

}